Forschungsstelle Neue Energien und Recht TU Chemnitz/TU Bergakademie Freiberg e.V.

# Die Rolle von Pumpspeicherwerken zur Verstetigung fluktuierender Erneuerbarer Energien





Matthias Beisler 28/02/2013

## Vorstellung der Präsentationsinhalte



- Energiewirtschaftliche Randbedingungen Überblick künftige Szenarien der Energieversorgung und die prognostizierte Rolle der Energiespeicherung
- Mögliche Beiträge von PSW in Zuge der Integration von EE
- Projektplanung Wirtschaftlichkeitsuntersuchung bei PSW
- Projektbeispiel Rentabilitätsprüfung eines (dezentralen) PSW

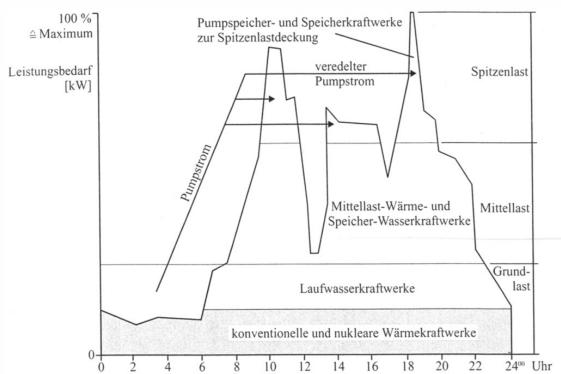
# Betriebsweise von Pumpspeicherwerken entsprechend der Tagesganglinie des elektrischen Leistungsbedarfs

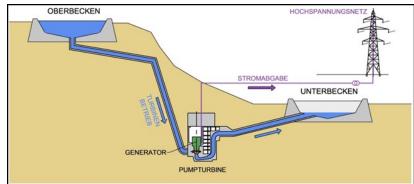


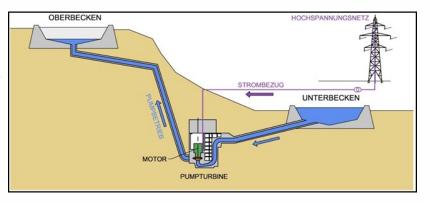
### Wirkleistung:

### Speicherung von Überschussenergie zu

Schwachlastzeiten und Einspeisung zu Zeiten hohen Bedarfs (Ausgleich der tägl. Bedarfsspitzen).





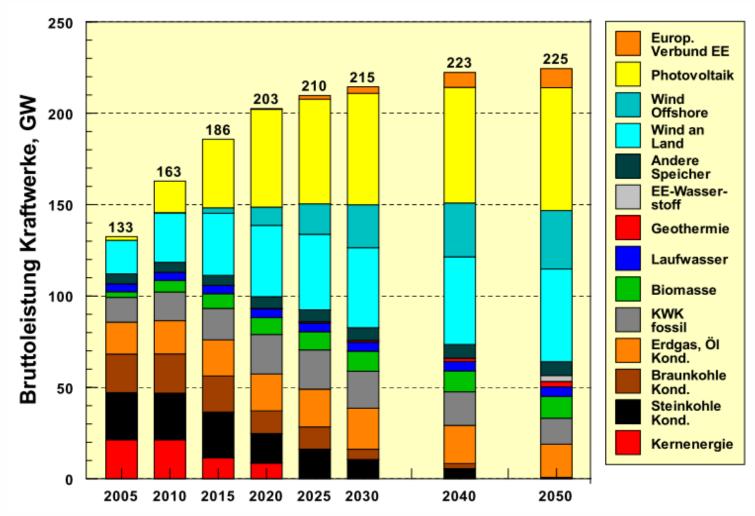






### Prognostizierte Entwicklung der Stromerzeugungskapazitäten



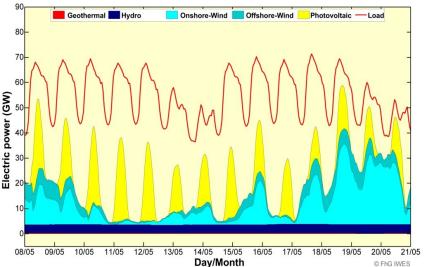


Quelle: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Angaben basierend auf vorläufigem Szenario A für BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) Leitstudie 2011, Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global

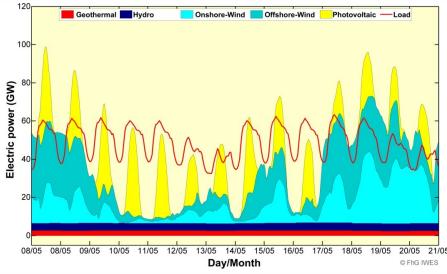
# Leistungsbereitstellung ungesteuert, ohne Ausgleich durch Speicher und Lastmanagement (Beisp.: 2-Wochen-Verlauf im Mai)







Jahr 2050: EE-Jahresanteil ca. 85%



Quelle: Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) Leitstudie 2010

Wachsende Anforderungen an Energiespeicher durch vermehrte Lastwechsel, erhöhte Leistungsgradienten, An- und Abfahrt, Ökonomie etc.

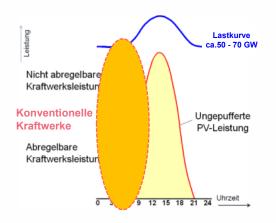
Wachsende EE-Überschüsse erfordern neben leistungsfähigen Netzen auch eine Langzeitspeicherung

- ► Ausbau der Netze erforderlich sowie Schaffung von Kurzzeitspeichern (z.B. PSW)
- ▶ PSW in Deutschland für diese Zwecke nur bedingt geeignet (mögl. Speichertechnologien: Wasserstoff und Methan).



# Zusammenspiel Stromverbrauch, konventionelle Kraftwerksleistung und Solarstromerzeugung





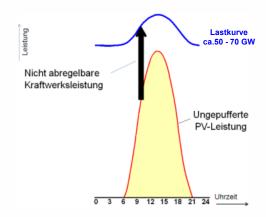
Lastkurve ca.50 - 70 GW

Nicht abregelbare Kraftwerksleistung

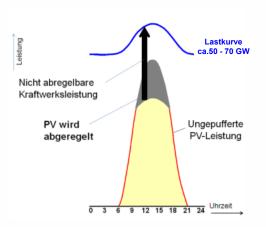
Abregelbare Kraftwerksleistung

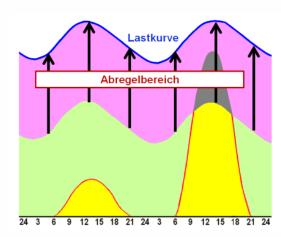
...abgeregelt

0 3 6 9 12 15 18 21 24 Uhrzeit



Quelle Grafiken: SFV e.V.



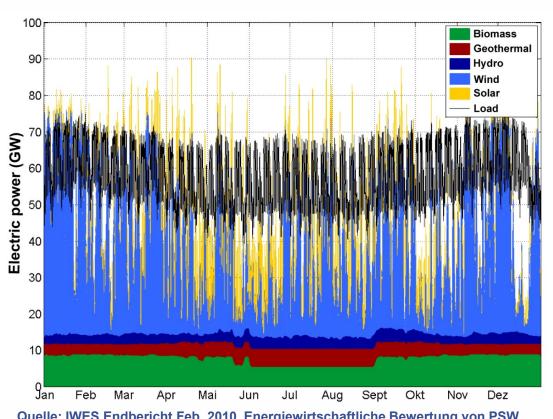


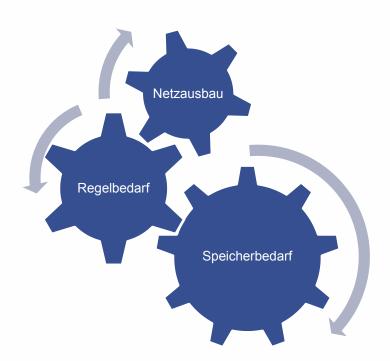
- ⇒ Ein weiterer Zubau ungepufferter PV-Anlagen erhöht die einspeisbare Solarstrommenge nur noch unwesentlich
- ⇒ Steuerungsmaßnahmen müssen frühzeitig getroffen werden, weit bevor die PV-Leistung die Lastkurve erreicht
- ⇒ Wenn mehrere EE gleichzeitig Strom liefern, ist der Abregelbereich schnell erreicht
- Es ist eine Glättung der fluktuierenden Einspeisung und Ihre Anpassung an den Verlauf der Lastkurve erforderlich

## Verbleibende Residuallast bei Simulation der Einspeisung erneuerbarer Energien



### Last und kumulierte EE Einspeisung für das Jahr 2050





Quelle: IWES Endbericht Feb. 2010, Energiewirtschaftliche Bewertung von PSW

▶ Bis zum Jahr 2050 ist ein signifikanter Anstieg von Stromüberschüssen zu erwarten

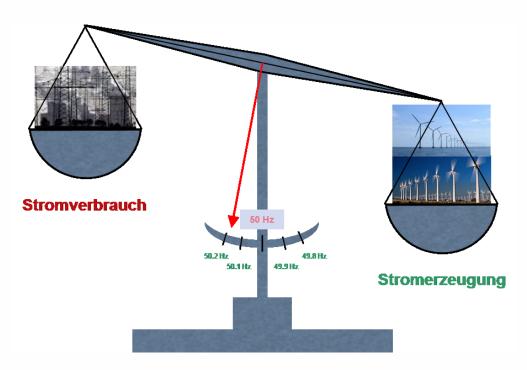


### Pumpspeicherwerke liefern Systemdienstleistungen

BERATENDE INGENIEURE

Der Betrieb elektrischer Netze erfordert zu jeder Zeit ein Gleichgewicht zwischen Erzeugungsleistung und Verbrauch

⇒ die Bilanz muss zu jedem Zeitpunkt im Gleichgewicht stehen



► Regelleistungsbedarf: Ausgleich kurzfristiger (ungeplanter)
Abweichungen der Abnahme vom Stromangebot.

### Systemdienstleistungen:

### Regelleistung

Bereitstellung aufgrund des Ausfalls volatiler Energieformen, Stabilisierungsfunktion bei Netzstörungen.

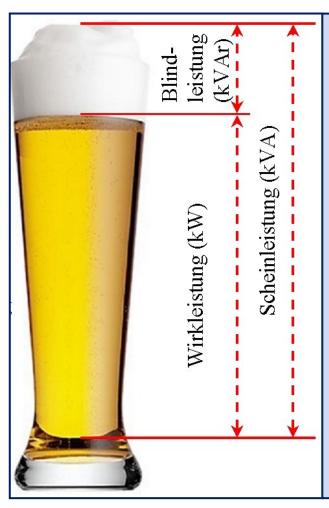
- <u>Primärregelung</u> ⇒ zur Regelung der Frequenz, automatisch innerhalb weniger Sekunden wirksam (nach 2 s bis 30 s)
- <u>Sekundärregelung</u> (individuelle Reservehaltung)⇒ Leistungsanpassungen innerhalb von 15 min
- Minutenreserve bzw. Tertiärregelung ⇒ kurzfristige Anforderung durch den Netzbetreiber (manuell und/oder automatisch)
- Bereitstellung <u>Blindleistung</u> bzw. Blindleistungskompensation, Blindleistungs- Spannungsregelung

### Schwarzstartfähigkeit



### Scheinleistung, Wirkleistung, Blindleistung





### Scheinleistung = Anschlussleistung

- ⇒ ergibt sich aus den Effektivwerten von elektrischer Spannung U und elektrischer Stromstärke I [ V·A ]
- ⇒ Entscheidend für die Belastung der elektrischen Leitungsnetze Ursache für Blindleistung:

Zeitliche Verschiebung zwischen Strom und Spannung = Phasenverschiebung

- Nur die Wirkleistung ist nutzbare Leistung mit der sich Maschinen antreiben lassen oder Lampen zum Leuchten gebracht werden können.
- Blindleistung dagegen verbraucht sich nicht und kann auch keine Arbeit leisten.
- Blindleistung belastet (wie auch Wirkleistung) das elektrische Leitungsnetz, welches auf die Gesamtbelastung (Scheinleistung) ausgelegt sein muss.
- Blindleistung wird nicht verbraucht, muss aber trotzdem vom Stromlieferanten bereitgestellt werden.

In PSW verwendete Synchrongeneratoren können durch entsprechende Steuerung ihres Erregerstroms Blindleistung zur Verfügung stellen.

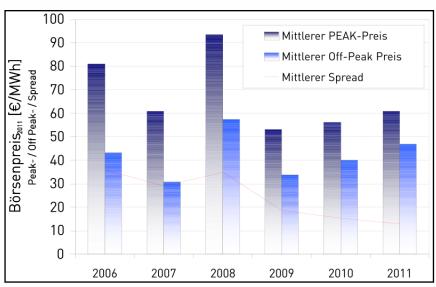


# Bedeutung von Pumpspeicherwerken hinsichtlich der Integration von EE und Umsetzung der Energiewende



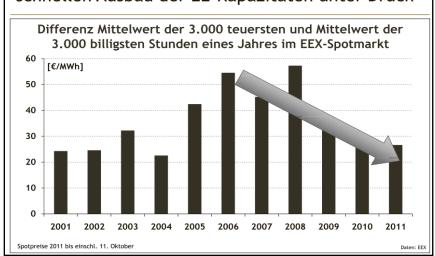
- Derzeit (noch) einzige verfügbare großtechnische Form der wirtschaftlichen Stromspeicherung (Umwälzwirkungsgrad ca. 75 80%)
- Technologie effizient und bewährt sowie zuverlässig beherrschbar
- Wichtiger Beitrag zur Deckung der Spitzenlast
- PSW können einen erheblichen Beitrag zur CO<sub>2</sub> freien Stromerzeugung leisten
- Stabilisierung der Strom- Übertragungsnetze (Speicher und PSW sind Netzdienstleister)
- Keine Abhängigkeit von schwankenden und tendenziell steigenden Brennstoffkosten
- Hohe Kraftwerks Lebensdauer bei vergleichsweise geringen Betriebskosten

### **Peak - Off Peak Preisproblematik**



Quelle: Vortrag EnBw 2011 basierend auf Daten der EEX

### Peakpreise und Spreads geraten durch den schnellen Ausbau der EE-Kapazitäten unter Druck





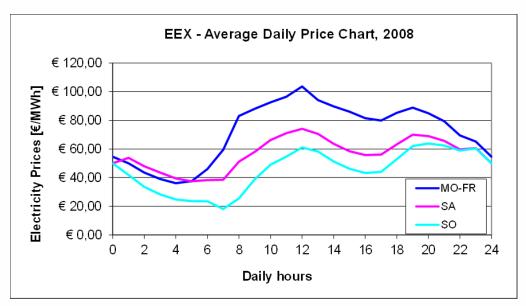
# Anforderungen an PSW zur Integration von EE:

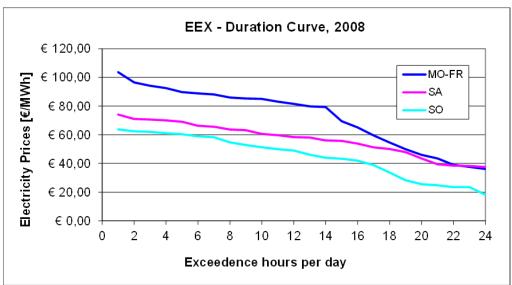
- Kurz- und Langzeitspeichermöglichkeit
- Auslegung der Anlagen auf größtmögliche Flexibilität (max. Regelfähigkeit im Pumpund Turbinenbetrieb)
- Rasche Reaktionszeiten zur Gewährleistung von Primär-, Sekundär, Tertiärregelung und Minutenreserve

### **Problem:**

- ► Fehlendes langfristiges Marktmodell
- **►** Unzureichende Planungssicherheit

### **Peak - Off Peak Preisproblematik**







Auslegung des PSW

täglich 6h Turbinenbetrieb

Vergütung von ca. 90 €/MWh

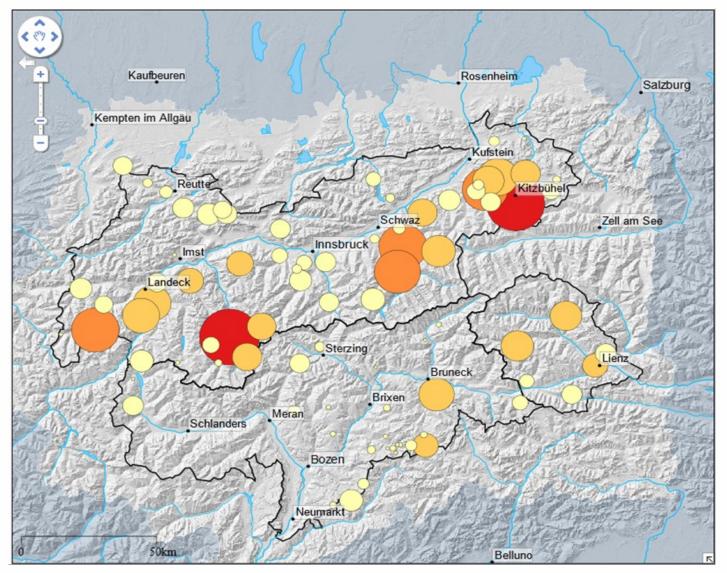
täglich 6h Pumpbetrieb:

Stromkosten von ca. 45 €/MWh

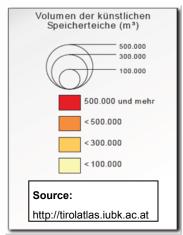
**Spread** (Peak-Off Peak) 2:1



# Potential PSW – Künstliche Speicherteiche







► Gesamtvolumen von ca. 7.5 Mio. m³



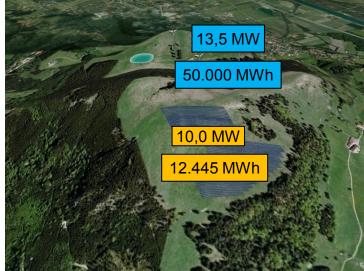
# Potential PSW – Künstliche Speicherteiche

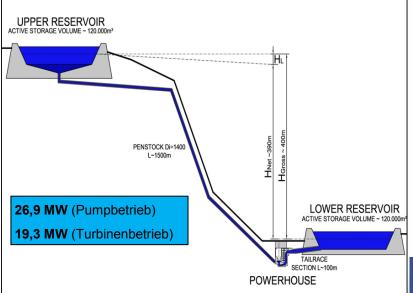


# Integration Obb in Hybridkraftwerk (Stromerzeugung/-speicherung)



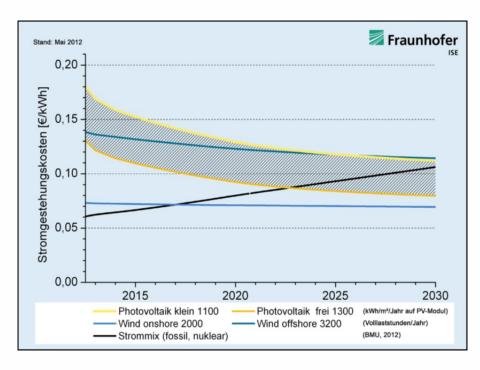


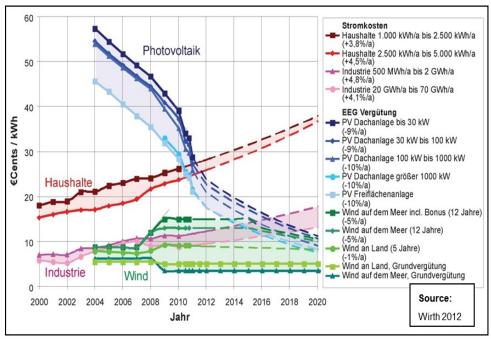




# Grundlage der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung Stromgestehungkosten - Strombezugskosten







**Start der Stromproduktion:** 

2018

**75 €/MWh** (Richtwert zur Bestimmung der Projekterträge)

**Deckung von Eigenbedarf:** 

 $\Rightarrow$ 

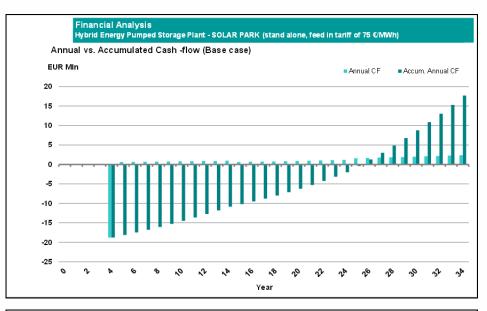
 $\Rightarrow$ 

140 €/MWh (Jahresbedarf für Schigebiet ca. 15.000 MWh)



# Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung (Solar)





Projektlaufzeit:	30 Jahre
Projektlaufzeit:	30 Jah

Bauzeit: 1 Jahr

Kalkulationszinssatz: 6 %

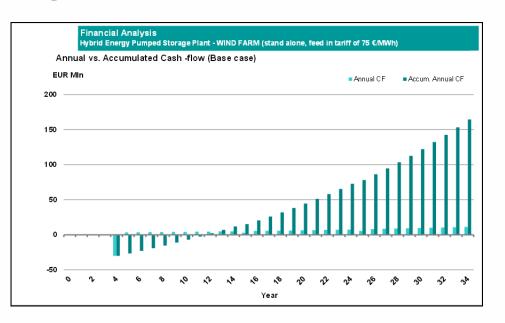
	IRR	NPV	B/C Ratio
Best Case	4,2 %	-3,1	0,83
Mean Case	3,8 %	-3,8	0,80
Worst Case	3,0 %	-5,9	0,72

						ase)									
EUR Min										<b>■</b> A	nnual CI	•	Accum	. Annua	al C
40 ——															
30 ——															
20 —															
												٠.	ш	Ш	
10 —												_	_	_	_
											e II.	ш	ш	ш	
0		777	i i i	77	rit	TT	TT	<b>1</b> -1-		4	Ц	Ц	Ц	Щ	
		Ш	П	П	Ш	TT	TT	rv	<b></b> _	4,4,	11	Щ	<u> </u>	Щ	
-10		П	П	П	Ш	TT	ŢŤ	Tr. for		4,4,	11	11	11	Щ	
0	1			П	Ш	TT	TT	<b>Tr</b> Tr	<u></u>	4,4,	1,1,	11	11	11	

	IRR	NPV	B/C Ratio
Best Case	6,0 %	0,1	1,00
Mean Case	5,7 %	-0,6	0,97
Worst Case	4,7 %	-2,7	0,87

## Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung (Wind)





Projektlaufzeit: 30 Jahre

Bauzeit: 1 Jahr

Kalkulationszinssatz: 6 %

	IRR	NPV	B/C Ratio
Best Case	15,6 %	34,8	2,32
Mean Case	14,9 %	33,6	2,23
Worst Case	13,2 %	30,3	1,99

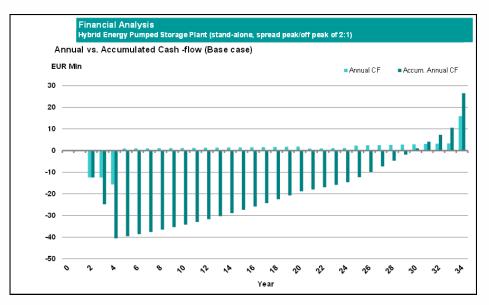
Kosten/Erträge Solar:

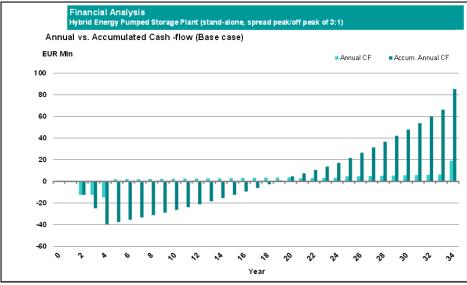
Installed Capacity	<b>Annual Power</b>	CAPEX	Annual O&M Costs
[MW]	[MWh]	[€]	[€]
10	12.445	18.750.000	300.000
10	12.445	18.750.000	300.000

Kosten/Erträge Wind:

Installed Capacity	Annual Power	CAPEX	Annual O&M Costs
[MW]	[MWh]	[€]	[€]
12 E	E0 000	20,000,000	280.000
	• •	[MW] [MWh]	[MW] [MWh] [€]

## Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung (PSW)





Projektlaufzeit: 30 Jahre

Bauzeit: 3 Jahre

Planung & Genehmigung 2 Jahre

Kalkulationszinssatz: 6 %

	IRR	NPV	B/C Ratio
Best Case	3,0 %	-11,6	0,68
Mean Case	2,4 %	-14,8	0,62
Worst Case	1,3 %	-23,0	0,52

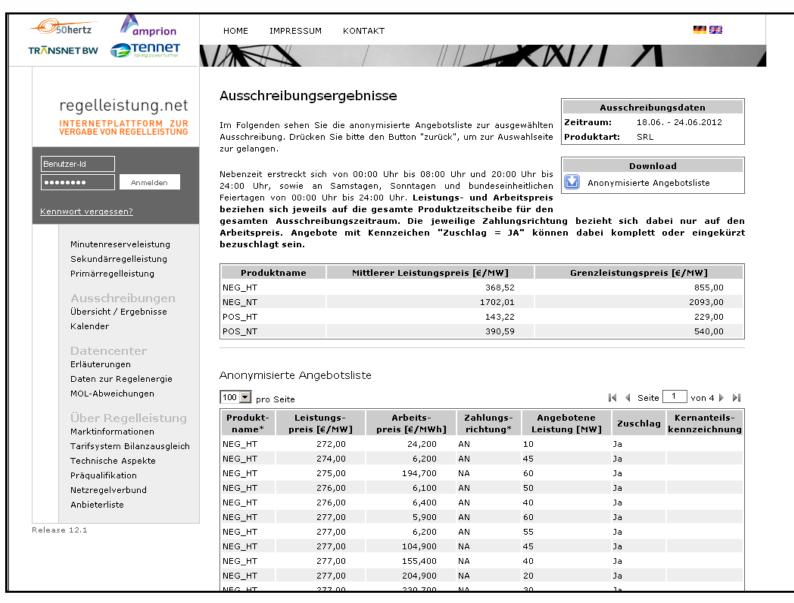
#### Weiteres Optimierungspotential:

- Kosteneinsparungen durch Bestehende Infrastruktur (Obb)
- · Ertragssteigerung durch natürlichen Zufluss zum Obb

	IRR	NPV	B/C Ratio
Best Case	7,3 %	6,0	1,16
Mean Case	6,6 %	2,7	1,07
Worst Case	5,0 %	-5,5	0,89



## DCF Modell, Sekundärregelung - Vergütung





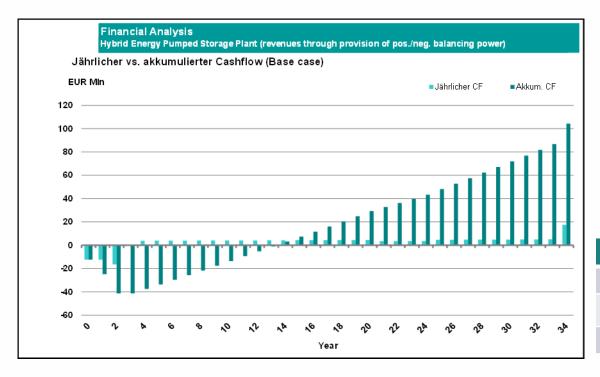
### Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung



Wirtschaftlichkeit des PSW bei

Vergütung der Bereitstellung von

Regelleistung:



### Problem:

Derzeit kein Marktmodell für Systemdienstleistungen (Regelleistung, Blindstrom, Schwarzstartfähigkeit etc.)!

	IRR	NPV	B/C Ratio
Best Case	10,7 %	18,0	1,50
Mean Case	8,0 %	10,9	1,25
Worst Case	6,3 %	2,1	1,04



## Wirtschaftlichkeitsuntersuchung Planung, Bau u. Betrieb der Anlage als Hybridkraftwerk



- Kosteneinsparungen bei Planung und Bau (Erschließung, Netzanbindung etc.)
- Effektives Stromerzeugungsmanagement durch die Möglichkeit zur Speicherung
- Nutzung von Synergien i.V.m. mit Pistenbeschneiung

Eigenbedarf: 15 GWh/Jahr

Erzeugung Solar: 12,5 GWh/Jahr

Erzeugung Wind: 50 GWh/Jahr

Annahme: 70% des jährl. Eigenbedarfs (10,5 GWh) kann durch

eigene Stromerzeugung abgedeckt werden

	IRR	NPV	B/C Ratio
Best Case	11,2 %	9,7	1,59
Mean Case	10,7 %	9,1	1,53
Worst Case	9,4 %	7,2	1,38

EUR Min		
		■ Annual CF ■ Accum. Annu
40 ————————————————————————————————————		
30 —		
		- 1
20		
10		<del>.,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,</del>
		,,,,,,,,,,
,	1111111	
-10	<u>                                      </u>	

	IRR	NPV	B/C Ratio
Best Case	7,4 %	2,3	1,14
Mean Case	7,0 %	1,7	1,10
Worst Case	5,9 %	-0,1	0,99



# Zusammenfassung - Energiewirtschaftliche Randbedingungen



- Auf der Erzeugerseite ist künftig mit einer großen Fluktuationsbandbreite und ausgeprägten Leistungsgradienten zu rechnen.
- Verändertes Anforderungsprofil an PSW hinsichtlich flexibler Leistungsbereitstellung (häufige Umschaltvorgänge, erforderliche Regelfähigkeit, rasche Reaktionszeiten, längere Einsatzzeiten, etc.).
- Rückläufige der Preise an den Strombörsen in den vergangenen Jahren aufgrund des massiven Zubaus von Wind- und Solarstrom.
- Rückgang der Preisspanne zwischen Peak und Peak-off Preisen (mittelfristig ist mit einem erneuten Anstieg zu rechnen).
- Unzureichendes Marktmodell für Systemdienstleistungen
- ► Lange Projekt Vorlaufzeiten erfordern sowohl mutige als auch fundiert begründete unternehmerische Entscheidungen
- ➤ Aus Investorensicht wirken die hohen Anfangsinvestitionen, die langen Vorlaufzeiten und Amortisationsdauern hemmend angesichts der **unklaren politischen Rahmenbedingungen** (Förder- und Entgeltregime, langfristige Marktzuschnitte, Entwicklung der Netze)
- Orientierung am gesamtwirtschaftlichen Nutzen erforderlich (Schaffung entsprechender politischer Rahmenbedingungen)
- ⇒ erhebliche Auswirkungen auf Planung, Bau und Betrieb von Pumpspeicherwerken



# Ökonomische und technische Aspekte bei der Planung von Pumpspeicherkraftwerken

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



